

## LABORATORIUM

### MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTROTECHNICZNE

#### Ćwiczenie nr 3

#### Badanie materiałów ferromagnetycznych

Lublin 2025 r.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

## Cel ćwiczenia

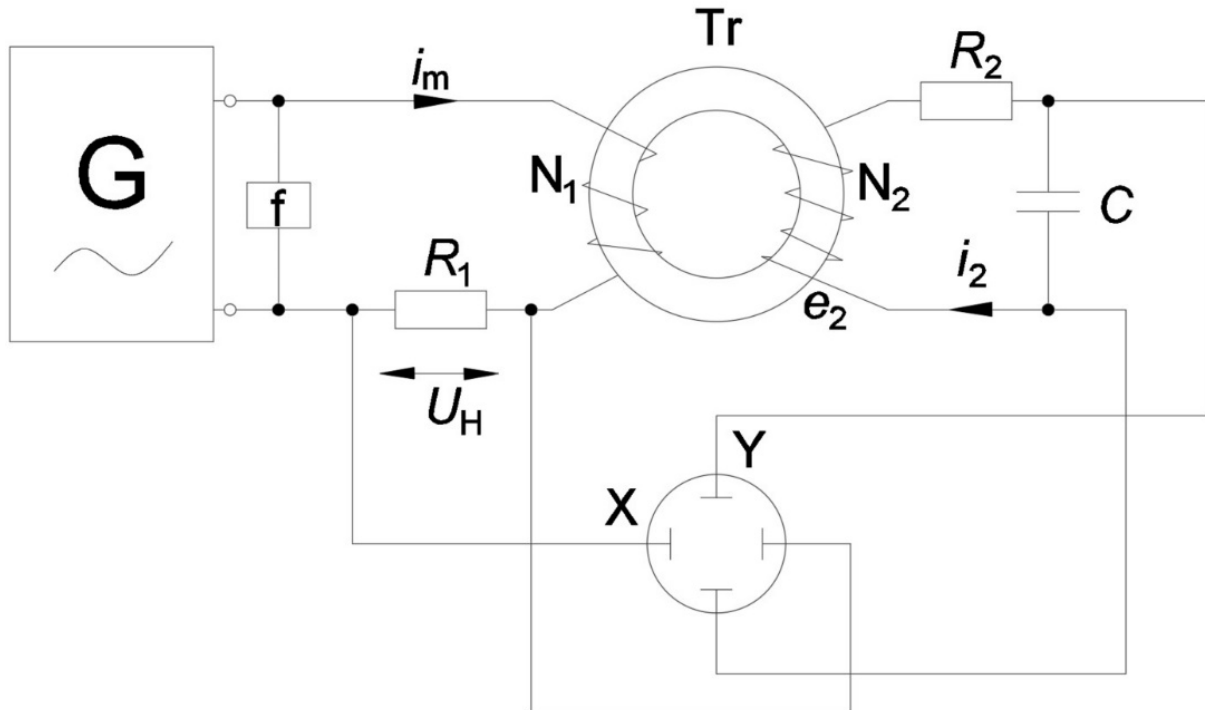
Celem ćwiczenia jest pomiar i analiza podstawowych właściwości magnetycznych różnych materiałów ferromagnetycznych.

## Zakres ćwiczenia

W ćwiczeniu zostanie przeprowadzona analiza właściwości magnetycznych trzech materiałów ferromagnetycznych stosowanych w elektrotechnice: ferrytu, blachy transformatorowej oraz blachy przeznaczonej do pracy przy podwyższonej częstotliwości. Na podstawie pętli histerezy wyznaczone zostaną następujące parametry: maksymalna indukcja magnetyczna, maksymalne natężenie pola magnetycznego, indukcja szczątkowa oraz natężenie pola koercji. W oparciu o zmierzone wartości zostanie obliczona względna przenikalność magnetyczna badanych materiałów. Dodatkowo, na ekranie oscyloskopu będą obserwowane zmiany kształtu pętli histerezy w zależności od zmiany amplitudy i częstotliwości sygnału sinusoidalnego.

## Stanowisko pomiarowe

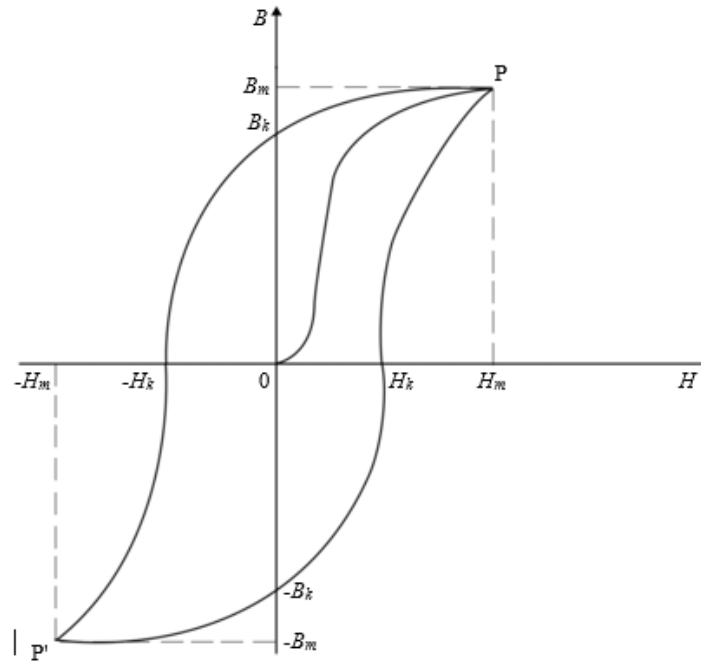
Badania materiałów ferromagnetycznych zostaną przeprowadzone na stanowisku przedstawionym na rysunku 1. Stanowisko składa się z modelu do badania materiałów ferromagnetycznych, który zawiera trzy pary ( $N_1, N_2$ ) uzwojeń nawiniętych na rdzenie wykonane z badanych w ćwiczeniu ferromagnetyków ( $Tr$ ). Sygnał do badanego układu będzie generowany przez generator przebiegów sinusoidalnych o dużej mocy ( $G$ ). Do obserwacji pętli histerezy wykorzystany zostanie dwukanałowy oscyloskop Protek 3502C ( $X, Y$ ).



Rysunek 1. Układ do pomiaru podstawowych właściwości magnetycznych

## Wykonanie ćwiczenia

W celu wykonania ćwiczenia należy zmierzyć przy pomocy oscyloskopu dwukanałowego wartości maksymalnej indukcji magnetycznej, maksymalnego natężenia pola magnetycznego, indukcji koercji oraz natężenia pola koercji. Parametry te mogą zostać odczytane z pętli histerezy magnetycznej której przykładowy wykres przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Pętla histerezy ciała ferromagnetycznego.

Gdzie:

$H_m$  – maksymalne natężenie pola magnetycznego,

$B_m$  – indukcja maksymalna,

$B_k$  – indukcja koercji,

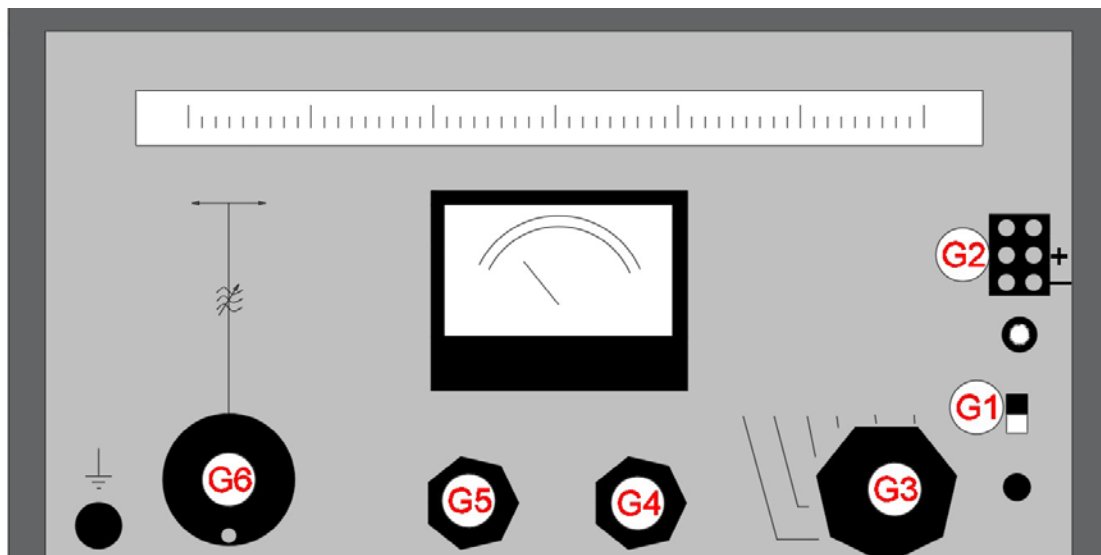
$H_k$  – natężenie pola koercji,

## Wykonanie pomiarów

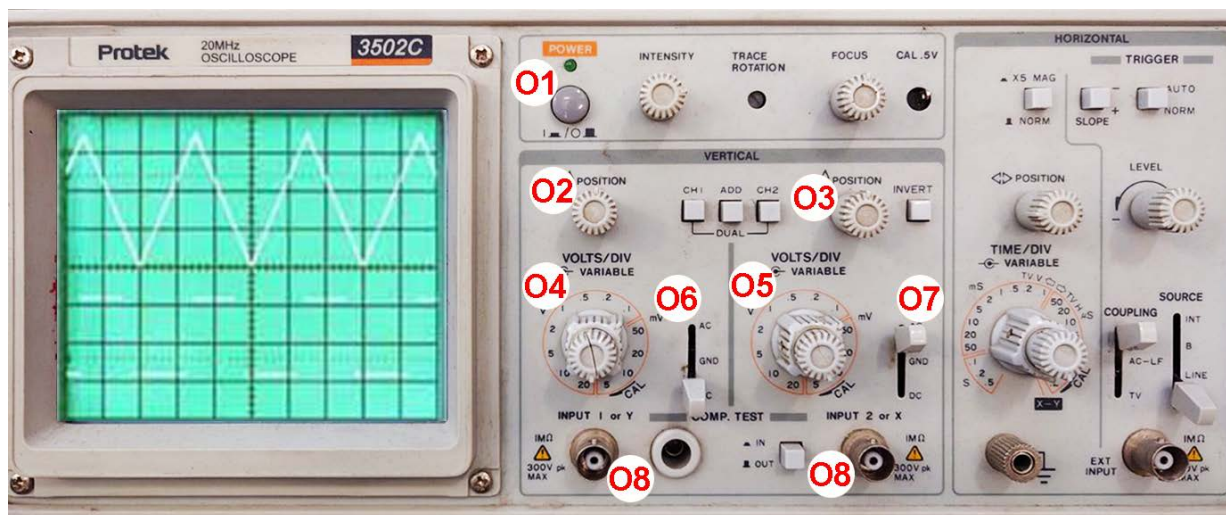
Aby wykonać tę część ćwiczenia, należy postępować zgodnie z poniższymi krokami:

1. Podłączyć układ zgodnie ze schematem (rys. 1):
  - a. Podłączyć model do badania podstawowych właściwości materiałów ferromagnetycznych do odpowiednich kanałów oscyloskopu (**O8**).
  - b. Podłączyć model do wyjścia (**G2**) generatora.
  - c. Podłączyć miernik uniwersalny do wyjścia z generatora i ustawić pomiar częstotliwości.
2. Przełącznikiem znajdującym się na obudowie modelu wybrać badaną próbkę ferromagnetyka.
3. Uruchomić generator (**G1**).
4. Pokrętkiem (**G3**) ustawić odpowiednią dekadę częstotliwości dla danego materiału zgodnie z tabelami 2-4.

5. Ustawić maksymalne wzmocnienie sygnału pokrętkiem (**G5**).
6. Włączyć oscyloskop wyłącznikiem głównym (**O1**).
7. Pokrętkami (**O4**) i (**O5**) ustawić odpowiednie stałe oscyloskopu zgodnie z tabelą 1.
8. Uziemić oba kanały ustawiając przełączniki (**O6**) i (**O7**) w pozycje **GND**.
9. Pokrętkami **POSITION** ustawić plamkę świetlną w punkcie przecięcia osi X (**O2**) i Y (**O3**)
10. Po skalibrowaniu oscyloskopu przełączyć (**O6**) w pozycje **DC**, a (**O7**) w pozycje **AC**.
11. Ustawić odpowiednią częstotliwość sygnału na generatorze za pomocą pokrętła (**G6**) zgodnie z wartościami podanymi w tabelach 2-4.
12. Amplitudę sygnału należy ustawić pokrętkiem (**G4**) tak aby uzyskać maksymalnie duży, ale nie zniekształcony obraz pętli histerezy na oscyloskopie.
13. Odczytać charakterystyczne wartości z pętli histerezy zgodnie z rys. 2 dla 5 wartości amplitudy i zapisać je w tabeli 2. Pamiętaj, że 1 cm = 1 działka. Wartości te mogą być odczytywane z „jednej połówki” pętli histerezy, gdyż pętla histerezy jest krzywą symetryczną.
14. Zmienić wartość częstotliwości sygnału i powtórzyć pomiary zgodnie z punktami 11 – 13.
15. Po wykonaniu pomiaru przy dwóch częstotliwościach dla danej próbki należy zmienić badany materiał, ustawić odpowiednie wartości częstotliwości i powtórzyć pomiary.



Rysunek 3. Schemat płyty czołowej generatora przebiegów sinusoidalnych



Rysunek 4. Fotografia płyty czołowej oscyloskopu Prottek 3502C.

Tabela 1. Charakterystyczne parametry badanych ferromagnetyków.

$V_x$	$V_y$	$R_1$	$R_2$	$N_1$	$N_2$	$C$	$S$	$l_{sr}$
V/cm	V/cm	$\Omega$	$\Omega$	-	-	$\mu F$	$m^2$	m
Blacha transformatorowa								
0,1	0,1	4,7	910	300	60	20	0,00054	0,102
Feryt								
0,05	0,05	4,7	90	360	48	20	0,0002	0,091
Blacha na podwyższone częstotliwości								
0,1	0,1	4,7	910	480	32	20	0,0003	0,102

Oznaczenia w tabeli 1:

- $V_x$  – stała oscyloskopu odchylenia poziomego,
- $V_y$  – stała oscyloskopu odchylenia pionowego,
- $R_1$  – rezystancja rezystora wejściowego,
- $R_2$  – rezystancja rezystora po stronie wtórnej,
- $l_{sr}$  – średnia droga strumienia magnetycznego,
- $S$  – pole przekroju poprzecznego próbki,
- $N_1$  – uzwojenie pierwotne próbki,
- $N_2$  – uzwojenie wtórne próbki,
- $C$  – pojemność kondensatora.

Tabela 2. Wyniki pomiarów właściwości magnetycznych ferrytu.

Ferryt										
L.p.	$f$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$\mu$
	kHz	dz	dz	dz	dz	T	A/m	T	A/m	-
1.	1,2									
2.										
3.										
4.										
5.										
6.	1,5									
7.										
8.										
9.										
10.										

Tabela 3. Wyniki pomiarów właściwości magnetycznych blachy transformatorowej.

Blacha transformatorowa										
L.p.	$f$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$\mu$
	Hz	dz	dz	dz	dz	T	A/m	T	A/m	-
1.	50									
2.										
3.										
4.										
5.										
6.	60									
7.										
8.										
9.										
10.										

Tabela 4. Wyniki pomiarów właściwości magnetycznych blachy na podwyższonej częstotliwości

Blacha na podwyższonej częstotliwości										
L.p.	$f$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$B_m$	$H_m$	$B_k$	$H_k$	$\mu$
	Hz	dz	dz	dz	dz	T	A/m	T	A/m	-
1.	100									
2.										
3.										
4.										
5.										
6.	120									
7.										
8.										
9.										
10.										



Oznaczenia w tabelach 2-4:

$B_m$  – maksymalna indukcja magnetyczna,

$H_m$  – maksymalne natężenie pola magnetycznego,

$B_k$  – indukcja koercji,

$H_k$  – natężenie koercji,

## Opracowanie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników pomiaru należy obliczyć wartości natężenia pola magnetycznego, indukcji magnetycznej  $B$  oraz przenikalności magnetycznej  $\mu$ . Zgodnie z wzorami (1)-(3) Wyniki obliczeń zanotować w tabelach 2-4.

$$H = \frac{N_1(V_x U_x)}{R_1 l_{sr}}, \quad (1)$$

$$B = \frac{R_2 C(V_y U_y)}{N_2 S} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} \quad (3)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \quad (4)$$

gdzie:

$U_x, U_y$  – działki odczytane z oscyloskopu.

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni.

Na podstawie obliczeń należy wykonać osobne wykresy zależności indukcji magnetycznej  $B$  oraz przenikalności magnetycznej  $\mu$  od natężenia pola magnetycznego  $H$ , dla trzech próbek materiałów magnetycznych dla obu częstotliwości pomiarowych

## Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Schemat układu pomiarowego,
- Tabele pomiarów wraz z obliczeniami,

- Wykresy zależności  $B = f(H)$ ,
- Wykresy zależności  $\mu = f(H)$ ,
- Przykładowe obliczenia,
- Uwagi i wnioski dotyczące ćwiczenia.